

凍結工法を用いたシールドトンネルとアーバンリングの地中接続 Underground connection of shield tunnel and urban ring using ground freezing method

北川 立*

Ritsu Kitagawa

村上 初央***

Hajime Murakami

東條 光洋**

Mitsuhiro Tojo

藤井 洋介****

Yosuke Fujii

要 約

国道9号京都西共同溝のシールドトンネルと中間シャフト立坑を、凍結工法を用いて地中接続する工事において、3つの施工上の課題に対応策を講じ、施工を行った。①水がすぐ凍ってしまう-20℃の凍結環境下での底版コンクリートの撤去を、集じん機を併用した乾式コア抜きにより、粉じんの発生を低減して行うことができた。②立坑掘削断面および接続リング組立に干渉する凍結管があったが、当該凍結管のバイパスラインを設置することで、凍土造成機能を保持したまま接続リングの組立を行うことができた。③凍結地盤と鋼製リング背面間に充填するセメントミルク中の水分の凍結に対応するために、耐寒性高性能セメントミルクを採用した。試験練りの結果、凍結解除後に地山相当強度が得られることが確認できた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要および地中接続方法
- § 3. 施工上の技術的課題、対応策および施工結果
- § 4. 凍結環境下での施工におけるその他の留意事項
- § 5. おわりに

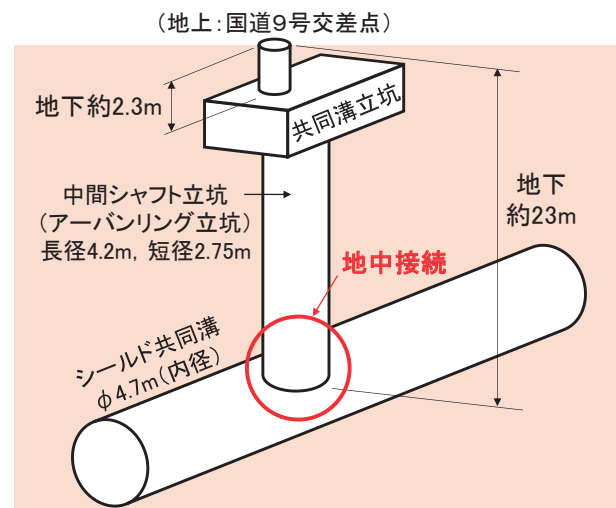
§ 1. はじめに

国道9号京都西共同溝は、重要インフラである電気、水道および通信ケーブルを収容する地下トンネル施設であり、国道9号の七本松通りとの交差点の地下から桂川の地下をくぐり、桂川街道との交差点までを結ぶ、延長3.3 km（シールド区間2.7 km）の事業である。当該共同溝は、シールド工法により施工されている¹⁾。

本工事は、地上の国道9号交差点から、アーバンリング工法により中間シャフト立坑を構築し、地下において共同溝シールドトンネルに地中接続するものである

（図一1）。地中接合箇所の地盤は、砂礫質の地盤で、透水性が高く（透水係数 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ m/s のオーダー）、地下水位はGL-1.2～6.8 m 程度である¹⁾ ため高水圧が作用する。また、地中接合箇所の直上には交通量の多い国道9号が通っている。以上のことから、地中接合工事に伴う地盤沈下リスクをできるだけ低減するため、優れた遮水性と強度を併せ持つ地盤改良工法である凍結工法が、補助工法として採用されている。

本稿では、凍結工法を用いたシールドトンネルとアーバンリング立坑の地中接続工事における施工上の課題とその対応結果について報告する。



図一1 地中接続イメージ図

* 西日本（支）京都西シールド（出）
（現：西日本（支）中部支店豊田シールド（出））

** 西日本（支）京都西シールド（出）
（現：西日本（支）中部支店名古屋西シールド（出））

*** 土木設計部

**** 西日本（支）京都西シールド（出）
（現：西日本（支）中国支店廿日市平良工事事務所）

§2. 工事概要および地中接続方法

2-1 工事概要

工 事 名：国道9号京都西共同溝立坑構築工事

工事場所：（自）京都府京都市右京区西院南高田町地先

（至）京都府京都市西京区上桂東ノ口町地先

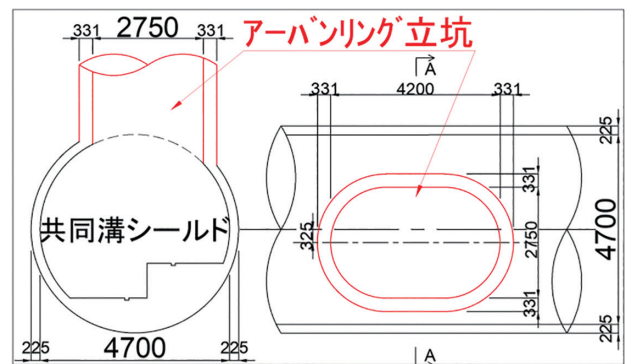
発 注 者：国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所

受 注 者：西松建設株式会社

工事期間：令和2年3月3日～令和5年3月31日

工事内容：中間シャフト立坑掘削，構築

（最大掘進深さ $L=23.1\text{ m}$ ，掘削平面積 14.1 m^2 ）

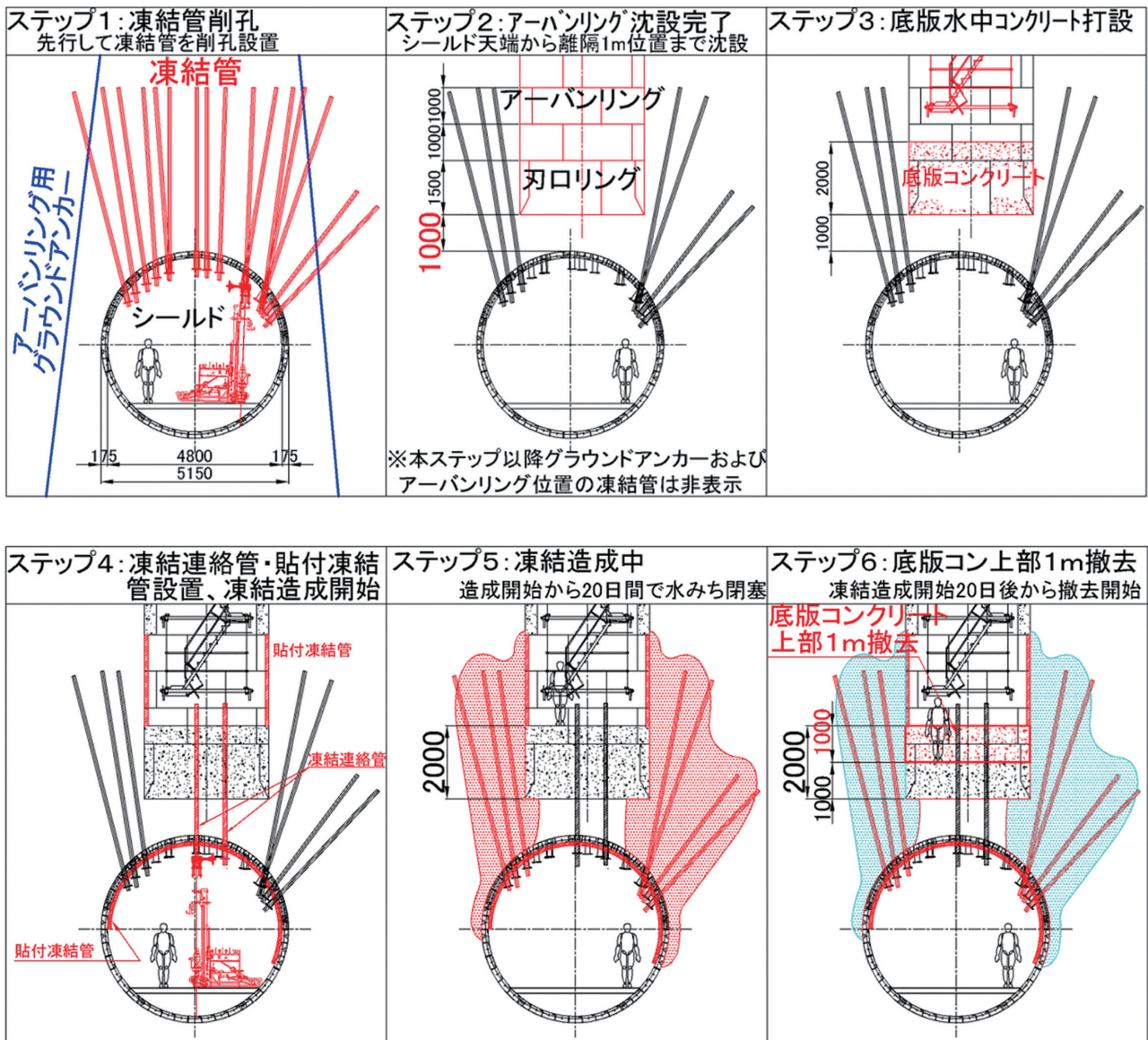


図ー2 接続部断面図および平面図

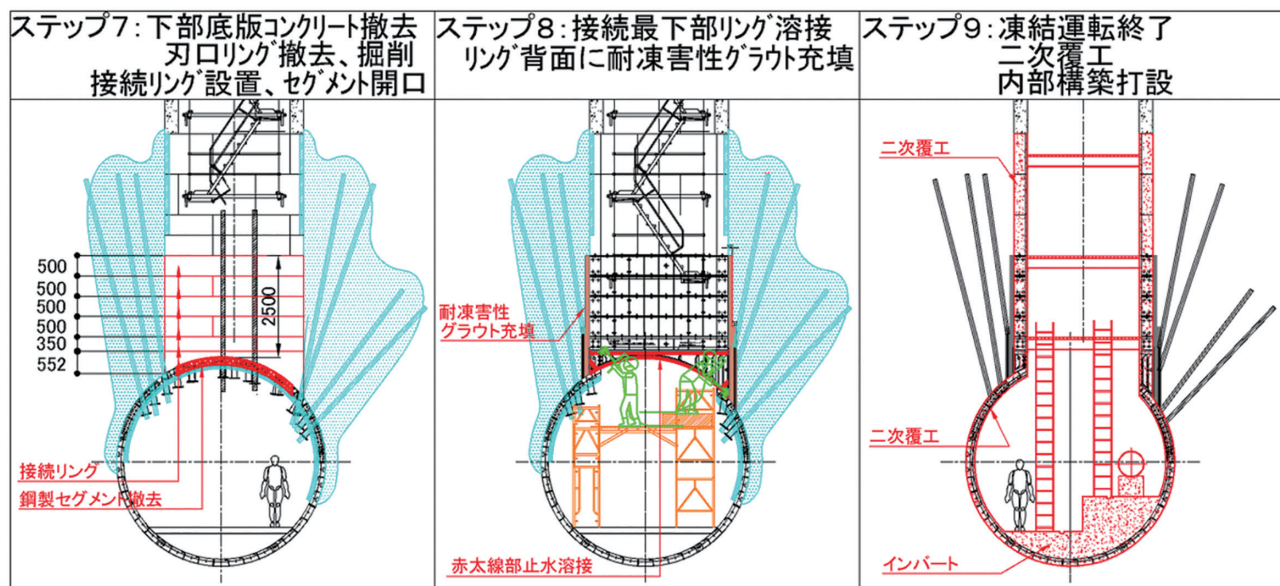
接続部の断面図および平面図を図ー2に示す。立坑の平面形は小判型であり，立坑芯とシールド中心線は300 mm程度偏心している。また，接続部のシールドトンネルのセグメントは，鋼製セグメントである。

2-2 地中接続方法

地中接続のステップ図(凍結管削孔～二次覆工)を図ー3～図ー4に示す。



図ー3 地中接続ステップ図（ステップ1：凍結管削孔～ステップ6：底版コンクリート上部撤去）



図一4 地中接続ステップ図（ステップ7：下部コンクリート撤去～ステップ9：二次覆工および内部構築）



写真一1 凍結環境下で生じたつらら



写真一2 乾式コア



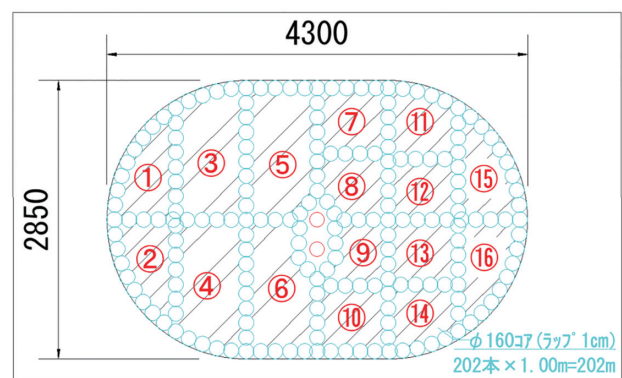
写真一3 集じん機

§3. 施工上の技術的課題、対応策および施工結果

3-1 凍結環境下での底版コンクリートの撤去

ステップ6および7における底版コンクリート撤去方法には、ブレーカー、チップング、コア抜きなどがある。いずれも粉じんが発生するため散水の必要があるが、凍結環境下で水を使うと、たちまち凍結する（写真一1）。また、撤去部分に溜まった水は氷の板となり、その撤去に時間を要する。加えて、凍結による削孔機械の不具合も懸念される。そのため、凍結環境下で水を使わずに底版コンクリートを撤去することが課題となった。

そこで、底版コンクリート撤去方法として、乾式コア抜きを採用することとした（写真一2）。一般的な湿式コア抜きは、給水システムによってコアビット内部に注水しながら削孔を行う。一方、乾式コア抜きは集じん設備（写真一3）を使うことでコアビット内部から切り粉を吸引でき、粉じんを低減して作業が可能である。底版コンクリートを連続したコア抜きにより、上下2段×16分割し（図一5）、天井クレーンにより坑外へ搬出することとした。



図一5 コア削孔平面図

乾式コア抜きによる施工状況を写真一4～写真一7に示す。乾式コア抜きにより、粉じんを低減して底版コンクリートを分割することができた。また、搬出時に、コンクリート塊が落下することのないようコンクリート塊中央にコア削孔を追加で行い、その穴にナイロンスリングを通して吊り上げ、搬出を行った（写真一5）。



写真-4 コア削孔状況



写真-5 搬出状況



写真-6 コア削孔完了



写真-7 コンクリート撤去完了

3-2 接続リングに干渉する凍結管

本工事の凍結工法における凍結管の配置は、最も短期間で所定の強度と凍土厚を造成することができる配置とした。しかし、図-4のステップ7の作業において、下

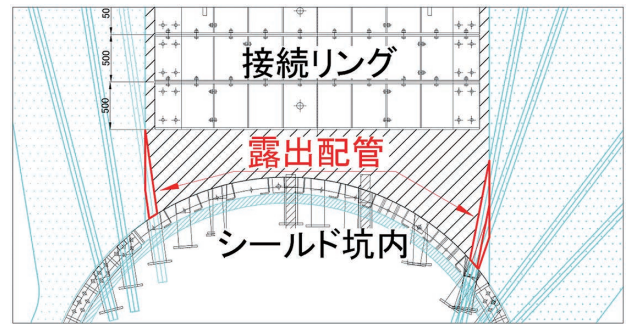


図-6 露出凍結管位置図 (黒斜線部：掘削面)

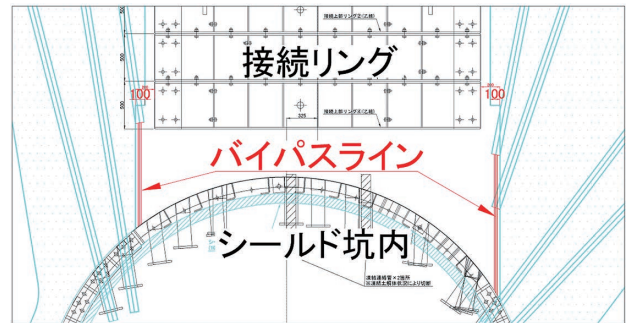


図-7 バイパスライン位置図

部底版コンクリートを撤去し、凍土を掘削すると掘削面に凍結管の一部が露出する (図-6)。この凍結管が接続リングに干渉してしまう位置にあり、接続リングが組めないため、対策が必要であった。

対策としては、凍結機能を保持したまま接続リング組立を行うために、露出した凍結管に流れる不凍液 (ブライン溶液) を一時的に止め、その隙に凍結管切断、バイパスラインの設置を行い (図-7)、接続リング組立に干渉しないようにした。また、バイパスライン設置に先駆け、露出配管背面の凍土を約 100 mm 追加掘削し、スペースの確保を行った。

本対策による施工状況を写真-8～写真-10に示す。接続リング位置の凍土掘削を行った結果、凍結管4本が露出した。このうち、中央の2本が接続リングに干渉するため、計画通りバイパスラインを設置し、無事接続リングを設置することができた。



写真-8 凍土掘削状況



写真-9 バイパスライン設置状況



写真-10 バイパスライン設置完了

表-1 耐寒性高性能セメントミルク W/C = 60%配合²⁾

材料名 (真比重)	普通セメント C (3.15)	特殊増粘剤 TAC-200 VT (1.05)	特殊消泡剤 アンチフォーム E-20 (1.01)	水 W (1.0)
1 m ³ 当たり	1090 kg	13 kg	0.66 kg	641 L

※特殊増粘剤は使用量 W×2%添加

※特殊消泡剤は使用増粘材料 200 VT×5%添加

3-3 凍結地盤と鋼製リング背面間の充填

図-4 のステップ 8 において、接続リングとシールドの鋼製セグメントの接続完了後、地山と鋼製リングの隙間に、セメントミルクを充填する。本工事では、この作業を地山凍結環境下で行うため、セメントミルクが硬化する前にセメントミルク中の水分が凍結することによる、初期凍害やアイスレンズの生成が懸念される。凍結環境下でも地山相当の強度を確保するために充填材の耐凍害性を高めることが課題となった。

この課題への対応策としては、セメントミルクに微細な気泡を連行することが効果的である。そこで、そのような性能を有する耐寒性高性能セメントミルクを充填材として用いることとした。耐寒性高性能セメントミルクの配合を表-1 に示す。本セメントミルクは、特殊増粘剤の効果により、セメントミルク内に独立した微細な気泡を連行させるものである。

本施工に先駆け、試験練りを行い効果の確認を行った。試験練りにて採取した供試体を冷凍庫内 -20℃ の環境で



写真-11 凍結解除後の供試体



写真-12 セメントミルク注入状況

保管し、一定期間経過後、冷凍庫から取り出し、アイスレンズが発生していないことを確認した(写真-11)。凍結解除後 7 日強度は平均 9.27 N/mm² と地山相当を十分に満足する強度が得られた。

本施工では、計画に従って、接続最下部リングの溶接が完了した後、鋼製リングのグラウトホールから耐寒性高性能セメントミルクを注入し、凍結地盤と鋼製リング背面間の充填を行い、無事施工を完了した(写真-12)。

§ 4. 凍結環境下での施工におけるその他の留意事項

以上 3 つの施工上の課題の他に、凍結環境下での施工で苦労したこと、およびそれらを踏まえた他現場での適用時の留意事項を以下に示す。

4-1 チッピングによる粉じんの発生

貼付け凍結管のブライン循環用ホースがあることにより、3-1 で述べた乾式コア抜きにおいて、外周のコア削孔位置が、当初想定よりも 30 cm ほど内側になり、コア抜きで撤去しきれない底版コンクリートの数量が増加した。その撤去には、やむを得ずチッパーを使用したため、送風機を使用したものの、粉じんが酷く防じんマスク着用が必須であった(写真-13)。



写真-13 チッピング状況



写真-15 雨水流入防止の仮設屋根



(a) 温度計 (-20℃)



(b) 結露した凍結管

写真-14 凍結環境の状況

4-2 凍結環境下での作業

凍結環境下での地中接続作業の際、冷気が溜まりやすいアーバンリング立坑下は-20℃ほどになり(写真-14)、厳しい環境での作業が強いられた。そのため、作業員の休憩時間の増加することにより対応した。また、コンプレッサの圧縮空気中の水分が凍結することによるチップの交換が必要であった。

しかし、コア抜き作業中は、機械の熱により空気が暖められ、10℃ほどで特に支障なく作業することができた。トンネルと立坑が貫通した際も、滞留していた冷たい空気がトンネル側へ抜け、立坑下の気温は約15℃まで上がり、その後の作業は支障なく行うことができた。

4-3 流入した雨水の凍結

アーバンリング立坑下では、コア穴に流入した雨水や、立坑底版に溜まった雨水が凍結して滑りやすい状態となった。その対策として、アーバンリング立坑上に単管とトラックシートで仮設屋根を設置して雨水の流入を防いだ(写真-15)。

本工事のアーバンリング立坑は覆工板下の地下で施工したため、雨水の滴下は避けられず、仮設屋根の設置は

必須であった。

4-4 他現場適用時の留意事項

以上の経験を踏まえ、今後、凍結工法によるトンネル地中接続を他現場で実施する場合、以下の2点の検討も必要であると考える。

- 凍結環境下での作業員の負担を減らす施工方法や設備の検討
- 地中接続作業に支障のない範囲で、チッピングで撤去せざるをえない底版コンクリートの量を極力減らすことを考慮した凍結設備の配置の検討

§ 5. おわりに

本稿では、凍結工法を用いたシールドトンネルとアーバンリング立坑の地中接続工事における施工上の課題とその対応結果等について報告した。

なお、接続部における漏水防止や工期短縮のための様々な工夫も行っているが、これらについては、別の機会に改めて報告したい³⁾。

本報告が、今後施工される同様の凍結工法によるトンネル地中接続の設計、施工を行う上での一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 内山明日香：砂礫層における市街地での泥水式シールド施工報告，西松建設技報 VOL.43, 2020 年
- 2) ㈱タック：特殊増粘剤を用い耐寒性高性能セメントミルク，TAC 技術情報，I-017002-1，
http://www.tac-co.com/company/technical_information/耐寒性高性能セメントミルク/(参照：2024/5/10)
- 3) 北川立ほか：凍結地盤工法を用いたアーバンリングとシールドトンネルの地中内直上接合，土木学会第79回年次学術講演会，2024 年（投稿中）